EXPERIMENTELLE TEKTONIK.

Nachahmung komplizierter Faltenformen.

Von

Dr. Arthur VOGT.

EXPERIMENTELLE TEKTONIK.

Nachahmung komplizierter Faltenformen.

INAUGURAL-DISSERTATION

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Universität Freiburg in der Schweiz

zur

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

vorgelegt von

ARTHUR VOGT

aus Bonndorf (Baden).

ACAD. LAUSANNE BIBL.

Freiburg (Schweiz)

St.-Paulus-Druckerei.

1910

Meiner lieben Mutter

in Dankbarkeit

gewidmet

Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung und unter Leitung des Herrn Professor Dr. R. de Girard.

Diesem, meinem hochverehrten Lehrer, spreche ich auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank für sein stetes, wohlwollendes Interesse an meiner Arbeit aus.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545305_0054

EINLEITUNG.

Experimentelle Versuche zur Nachahmung von Faltenformen wurden schon zu Ende des 18. Jahrhunderts ausgeführt. Vor allem war es Hall in Schottland und Buffon in Frankreich, die jene ihnen damals bekannten Schichtendislokationen experimentell zu reproduzieren suchten [1]. Spätere Versuche dieser Art, angestellt von Alphonse Favre in Genf [2], Daubrée in Paris [3] und neuerdings von Reyer in Wien [4] bilden wertvolle Beiträge zur experimentellen Tektonik. Eine ganz neue Richtung in der Reproduktion von Faltenformen wurde kürzlich von meinem verehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. R. de Girard angegeben [5], und war es mir vergönnt, als erster dem neu erschlossenen Untersuchungsfelde meine Studien zuzuwenden.

Allgemeine Betrachtungen.

Die Faktoren, welche das Relief eines dislozierten Erdschollens hervorgerufen haben, sind die Faltung und ihre sekundären Erscheinungen, der Bruch. Wohl finden sich ganz untergeordnet Erhebungen der Erdoberfläche, die anderen Entstehungsursachen zuzuschreiben sind. So bilden sich beispielsweise die Vulkankegel durch Hervordringen von Gesteinsmagma aus dem Erdinnern und Anhäufung

[1] Darstellungsmethoden siehe Transact. R. Soc. Edinburgh, tome VII, 1813.
[2] Archives des Sc. phys. et nat., t. LXII, juin 1878.
[3] Etudes synthétiques de géologie expérimentelle, 1879.
[4] Geolog. und geograph. Experimente. I. Heft, 1892.
[5] Eclogae Geologicae Helvetiae. Vol. X., Nr. 1. März 1908. S. 48.

desselben auf der Erdoberfläche. Die Erosionsberge sind durch die erodierende Tätigkeit des fließenden Wassers aus einer ursprünglich plateauartigen Ebene herausmodelliert worden. Und mit den Moränenhügeln, die durch den Transport von Gesteinsmaterial des Gletschers gebildet werden, erschöpfen sich schon die Beispiele dieser Art von Gebirgsbildung, die doch nur verschwindend gering erscheint im Vergleiche mit den gewaltigen Dislokationsgebieten, welche durch Zusammenschub der Erdrinde hervorgegangen sind.

Alle unsere heutigen Hypothesen führen die Faltung auf seitlichen Druck zurück. Da nun die Lithosphäre in ihrer Gesamtheit oder die sie aufbauenden Formationen im einzelnen aus einer Folge horizontal liegender Schichten bestehen oder bestanden haben, so muß es auf experimentellem Wege möglich sein, durch seitliche Zusammenschiebung eines Blattes oder einer Platte Faltenformen zu erzeugen, die im Aufbau unserer Gebirge sich wieder finden. Ja man darf sogar behaupten, daß alle auf natürlichem Wege entstandenen Faltungserscheinungen experimentell nachzuahmen sind, wenn man sich in die bekannten Bedingungen versetzt, unter denen die Erdrinde die bestehenden Faltenformen bilden konnte. Dadurch wird das Experiment zu einem Kriterium in der Beurteilung, ob eine tektonische Form möglich ist oder nicht, und oft genug wird man beim Studium kompliziert aufgebautem Faltungsterrain zur absoluten Sicherstellung der Beobachtungen das geologische Experiment befragen müssen.

Faltungsversuche von Favre, Daubrée und Reyer, in Bezug auf Stoff und Dimensionen des Faltungsmaterials.

Favre gebrauchte für seine Versuche Tonstreifen von 60 cm mittlerer Länge, ca. 12 cm Breite und 2–6 cm Dicke. Die Stahlklingen von Daubrée hatten eine Länge von 25, eine Breite von 4 cm und eine variable, jedoch geringe Dicke. In ähnlichen Verhältnissen standen bei den Reyerschen Experimenten Länge und Breite des Faltungsmaterials, während die Dicke der zur Faltung angewandten Schichten von verschiedener Beschaffenheit bis zu 10 cm stieg.

Meine Experimente.

Die Darstellung komplizierter Faltenformen ist nur dann möglich, wenn Brucherscheinungen vermieden werden. Das Faltungsmaterial gebraucht nämlich den Bruch nur als Ausweg, um sich nicht falten zu müssen.

Der Faltungsstoff muß eine gewisse Biegsamkeit besitzen, darf jedoch nicht elastisch sein. Als besonders geeignet zur Experimentierung erwies sich schon in den Versuchen von Prof. de Girard das Blei, und wurden auch meine sämtlichen Experimente mittels ausgewalzter Bleiplatten ausgeführt.

Diesem Unterschied in der Auswahl des Faltungsstoffes, verglichen mit den früheren Experimenten, schließen sich neue wesentliche Änderungen in Bezug auf die Dimensionen des Versuchsmaterials an. Während die früheren Experimentatoren das Verhältnis von Länge zu Breite gewöhnlich wie 5 oder 6 zu 1 annahmen und somit nur mit Bändern oder Streifen operierten, gebrauchten Prof. de Girard und ich Platten von quadratischer Ausdehnung oder solche, deren Breite nur um ein Geringes von der Längsausdehnung abwich. Als Dicke der Platten wurde $^3/_4$ mm gewählt, wodurch die gewöhnliche Faltung mittels der Finger bequem auszuführen war.

Das gleiche oder doch angenäherte Verhältnis von Länge und Breite wurde als besonders erforderlich in die neue Experimentierung eingeführt. Prof. de Girard hat darauf aufmerksam gemacht, daß durch Anwendung schmaler Streifen oder Bänder der Einfluß des seitlichen Zusammenhanges auf ein Minimum reduziert wird, und deswegen die früheren Experimentatoren kaum etwas anderes als *Querschnitte* nachahmten. Wir wollen aber eben die Faltenformen nach allen ihren Dimensionen und auch mit den Erscheinungen ihres Verlaufes im *Grundrisse* reproduzieren.

Es ist einleuchtend, daß der seitliche Zusammenhang als Widerstand der Faltenbildung entgegenwirkt. Diese Tatsache findet ihren Ausdruck in den von Prof. de Girard als « formes concomittantes » bezeichneten Begleitformen, welche mit der Erzeugung der Falte unzertrennlich verbunden sind und sich nicht unterdrücken lassen, ohne eine wesentliche Veränderung der entstehenden Faltenform hervorzurufen. Derartige Beobachtungen können jedoch, um es nochmals zu betonen, nur angestellt werden, wenn mit breiten Faltungs-

platten operiert wird, und muß die Notwendigkeit dieser Versuchsbedingung zweifellos anerkannt werden, wenn ich in den folgenden Kapiteln Beispiele solcher Begleitformen aus der Natur anzuführen imstande bin.

Was nun die Art der Faltung anbetrifft, so wurden die Experimente der beiden ersten Kapitel völlig allein durch die Aktion der Finger ausgeführt. Im folgenden, dritten Abschnitte, wo es sich um Doppelfaltungen handelt, waren größere Kräfte in Anspruch zu nehmen, die durch Anwendung einer horizontal wirkenden Presse erreicht werden konnten. Für diese Experimente mußte dem Kräfteaufwand entsprechend dickeres Blei (2 und 3 mm) gebraucht werden.

Wie oft nun auch eine Faltung ausgeführt wurde, stets resultierte im Wesentlichen dieselbe Form. Die Hauptursache für diese Tatsache ist bedingt durch das Material, womit die Faltung ausgeführt wurde. Denn meine Modelle stellen durch Verwendung eines biegsamen, aber unelastischen Faltungsstoffes den plastischen Ausdruck von dem dar, was das geologische Profil in der Zeichnung zu zeigen bezweckt. Darnach wird mit Anwendung meiner Methode der Veranschaulichung die Tektonik mehr und mehr « une géométrie descriptive de précision [1], » und man hat nach dem Ausspruche von Marcel Bertrand keinen Grund mehr, sich aufzuhalten über « l'énorme disproportion entre les déformations mécaniques que réalisent nos expériences et celles que nous offre la nature [2] ». Er sagt : « dans les mouvements orogéniques, le plus ou moins grand nombre de kilomètres importe peu ; il n'y a là qu'une question de comparaison avec l'échelle à laquelle nos sens nous ont habitués. Au point de vue de la possibilité matérielle du phénomène, la moindre objection *d'ordre géométrique,* comme celle des rapports d'espace ou de surface occupés, est autrement grave, si même elle frappe moins l'esprit [3] ». Es handelt sich in der von Prof. de Girard angebahnten Methode, also auch bei meiner Experimentierung um rein geometrische Begriffe und nicht um Mechanik, wir haben nur Gestalten, weder Dimensionen noch Kräfte.

[1] De Launay, la science géologique, 1905. S. 235.

[2] Ibidem, S. 234.

[3] La grande nappe de recouvrement de la Basse Provence. (Bull. des serv. de la carte géol. de France, X, 1899. S. 5 und 6).

Eine weitere unbedingt notwendige Anpassung des Experimentes an die wahren Naturverhältnisse wird durch Anwendung meines Faltungsstoffes erreicht. Bedenken wir nämlich, daß die Erdkruste angenommenerweise 80,000 m Dicke betragen soll, wovon vermutlich nur 10,000 m[1] spröde, die folgenden 70,000 m hingegen in plastischem Zustande sich befinden, so gelangen wir zu dem Begriffe, daß die Lithosphäre in ihrem Durchschnitte eine recht leicht biegsame Platte darstellt. Weil aber in allen Fällen, wo sie sich nicht durch Überschiebung in zwei Schichten teilt, dieselbe in ihrer ganzen Dicke sich faltet, wird die Faltbarkeit der größeren Masse die Faltung des Ganzen regieren. Dies nachzuahmen erfordert demnach biegsames Material.

Die einzelnen dem Texte zur besseren Veranschaulichung angefügten photographischen Figuren bilden jedesmal den Typus einer ganzen Reihe angefertigter Experimente, mit anderen Worten, es ist jedesmal nur das bestgelungenste (d. h. das die gewünschte Form am besten nachahmende) Modell photographiert worden.

Die Bezeichnungen « Antiklinal » und « Synklinal » wurden der Abkürzung wegen verschiedentlich durch die Zeichen + und — ersetzt.

Mit der Bearbeitung vorliegender drei Kapitel wurde in der Weise verfahren, daß zuerst die Literatur um natürliche Beispiele der zu behandelnden Faltungen befragt, worauf die Nachahmung der verzeichneten Faltenformen auf ihre experimentelle Möglich-

[1] Die Annahme dieser Größe gründet sich bekanntlich auf die Festigkeitszahlen verschiedener Gesteinsstücke. Zur Zermalmung folgender Gesteinsarten ist für 1 ccm Querschnitt notwendig :

Ein Druck von :	*Die Last einer prismatischen Säule von der Höhe :*
40 kg für Ziegel,	166 m für Ziegel,
200–300 kg für Sandsteine,	900–1300 m für Sandstein,
300–500 kg für dichte Kalksteine,	1100–1800 m für Kalkstein,
500–700 kg für frischen Granit,	1800–2600 m für Granit, Gneiß,
800 kg für Felsitporphyr.	2860 m für Porphyr.

Darnach genügt das Gewicht eines sinkenden Krustenstückes von bloß 10000 m Dicke (Maximum) vollständig, die Cohäsionswiderstände der darunter liegenden Gesteine zu überwinden und sie plastisch biegsam zu machen. (Alb. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung, II. Bd., S. 86 und 104).

keit hin versucht wurde. Und oft war es nun das Experiment, das über die Entstehung mancher Falten überzeugend Neues zu berichten wußte und uns mit Verhältnissen in der Faltenausbildung vertraut machte, die ehemals bestanden, heute aber durch die seit der Faltenentstehung eingesetzte Abrasion verschwunden sind, so daß damit die tektonische Fläche [1] verloren ging.

Diese Arbeit befaßt sich ausschließlich nur mit der experimentellen Nachahmung natürlicher Faltenformen ; der Gegenstand einer weiteren Abhandlung soll die Untersuchung des Verhältnisses zwischen dem Grade der erzielten Deformationen und den dazu erforderlichen Kräften bilden, auch ist das Studium von Brucherscheinungen in Aussicht genommen.

[1] Die Schichtgestalt vor der Erosion nenne ich *tektonische Fläche* im Gegensatz zur heutigen *topographischen Fläche.*

I. KAPITEL.

Gekrümmte liegende Falten.

Zu Grunde liegendes Beobachtungsmaterial.

Zur Betrachtung des hier zu behandelnden Faltungstypus mangelt es uns nicht an Beispielen in der Natur ; die Westalpen, unsere nächste Umgebung, lassen uns die mannigfaltigsten Ausbildungen dieser Formen erkennen. So berichtet Marcel Bertrand über seine Studien in den französischen Alpen : « ce qui est certain, d'après l'étude des environs d'Oulx, c'est que le pli de la vallée de la Doire, jusqu'à Suse et le pli de Bellecombe ne sont qu'un seul et même pli, très sinueux (et couché [1]), entourant en demi-ellipse le massif du Mont Ambin (petit Mont Cenis [2]) ». Ferner spricht er von « plis remarquablement sinueux, s'emboîtant les uns dans les autres [3] ». Als weitere Beispiele nennt er das Massiv der Aiguille du Midi, den Mont Pourri und das Massiv der Basse Provence und vermehren sich noch solche Angaben durch die Studien von P. Termier über das Massiv des Pelvoux und dasjenige der Vanoise. Ferner meint M. Bertrand (auf Grund eines Berichtes von M. Fournier [4]), daß eine solche gekrümmte liegende Falte « peut décrire toutes les sinuosités, revenir sur elle-même, reprendre même contact avec son premier parcours et alors se neutraliser en quelque sorte et disparaître momentanément [5] » und glaubt, daß « ces sinuosités seraient légitimées par la préexistence de massifs résistants, autour desquels les plis sont amenés à s'enrouler [6] ».

[1] Ce pli sinueux est partout couché vers le massif cristallin qu'il entoure. M. Bertrand : Etudes dans les alpes françaises, Paris, 1894, S. 79.

[2] Ibidem.

[3] Ibidem, S. 88.

[4] Bull. Soc. géol. 3me sér., t. XXIII, S. 508 und t. XXIV, S. 663.

[5] M. Bertrand : La grande nappe de recouvrement de la Basse Provence. Paris, 1899, S. 4.

[6] Ibidem.

Experimentelle Nachahmung.

Als Ausgangspunkt zur Darstellung einer gekrümmten, liegenden Falte bedient man sich der geraden, liegenden Form. Läßt man nun auf die beiden Schnittflächen derselben einen senkrecht zu ihnen gerichteten Druck einwirken, so erleidet die Falte eine Krümmung, deren Radius sich mit zunehmendem Druck vermindert. Dadurch erhalten wir verschiedene Stadien in der Entwickelung gekrümmter, liegender Falten.

Zwischenstadium.

Einige meiner Experimente haben gezeigt, daß eine Krümmung der Falte möglich ist, ohne daß sämtliche Teile derselben ihre ursprüngliche Lage verändern müssen. So ist beispielsweise in gewissen Fällen der Unterschenkel von der Biegung des Faltengewölbes ganz unberührt geblieben, (Fig. 1), wir haben es hier nur mit

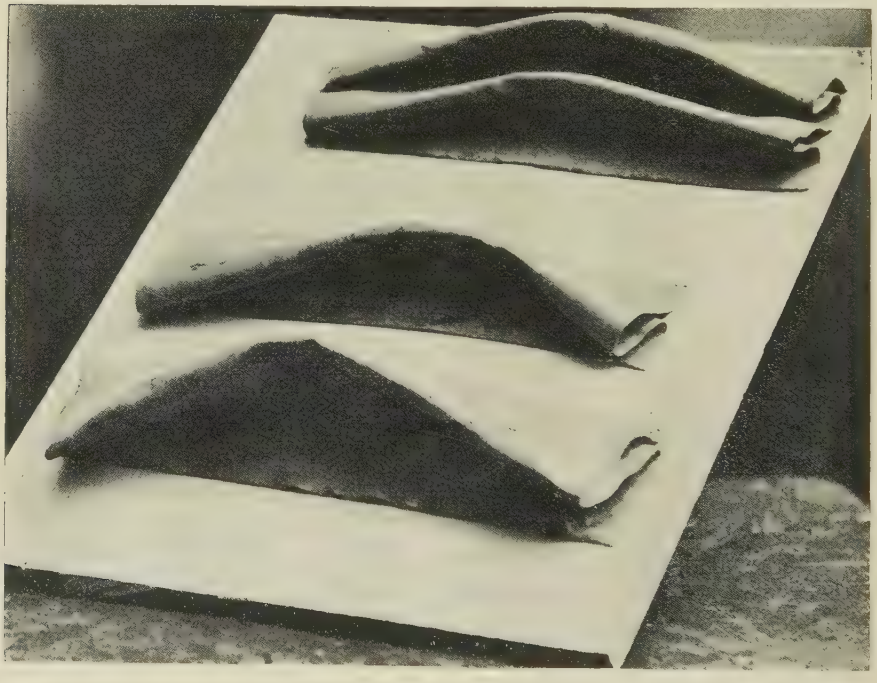

Fig. 1.

einer partiellen Faltenkrümmung zu tun, die sich in der Entwicklung von der geraden Falte bis zu derjenigen des ersten Krümmungsstadiums zeigt.

Erstes Stadium in der Krümmung der Falten.

Über das Zwischenstadium in der Entwicklung gekrümmter, liegender Falten gelangen wir nun zu Formen, die in ihrer Gesamtheit gekrümmt erscheinen. Wir sind am ersten Krümmungsstadium angelangt. Der Abstand der beiden Schnittflächen ist geringer geworden, er verminderte sich z. B. in Fig. 2 von 50 auf 34 cm. Der Betrag der jetzigen Abstandslänge ist nun gleich dem Durchmesser eines Halbkreises, der bei kontinuierlicher Krümmung von der Falte hätte gebildet werden können. Dies war jedoch bei dem angewandten Verfahren nicht zu ermöglichen, da die infolge der Krümmung in der Falte entstandene Spannung durch eine Knickung ausgelöst wurde.

Die erhaltene Faltenform unterscheidet sich wesentlich von ihrer ungekrümmten Ausgangsform dadurch, daß ihre Kammlinie nicht mehr horizontal verläuft ; dieselbe fällt nun geradlinig von dem am stärksten gekrümmten Faltenteil, der Knickungsstelle, nach den Schnittflächen der Falte zu. So ergaben Messungen der Faltenhöhe an einem der Experimente : Knickungsstelle 4,5, Endpunkte 3,3 und 3,5 cm. Die geknickte, etwa mittlere Faltenzone ist völlig aufgerichtet worden, dort ging der Typus der liegenden Falte gänzlich verloren. Ich kann daher gerne den Ausführungen von M. Bertrand beipflichten, wenn er sagt : « les plis en forme de croissant de la lentille anticlinal de l'Aiguille du Midi et du Mont Pourri sont couchés vers l'intérieur du croissant (côté italien), sauf dans la partie qui avoisine le centre du croissant », doch ist es mir auf seine hier anschließenden Worte : « mais là même le changement de sens de la poussée ne s'est fait sentir que dans la profondeur, et près des sommets, les parties des plis non dénudées se montrent encore couchées vers l'Italie [1] », nicht möglich gewesen, auch hierfür eine experimentelle Bestätigung zu geben. Ich habe zu diesem Zwecke

[1] Etudes dans les alpes françaises, S. 94.

eine gekrümmte Falte aufgestellt, deren Höhe 800 mal größer war als die Dicke des Faltenmaterials (60 cm : $^3/_4$ mm), und zeigte es sich, daß dieses Riesengewölbe noch eine solche Stabilität besaß, daß es sich selbst bei doppelter Höhe noch nicht umbiegt. Ich halte es überhaupt für ausgeschlossen, daß eine gekrümmte Falte mit derartigen Dimensionen sich « près des sommets » umzulegen imstande ist, ihr Gewicht muß sie in den untern Teilen des Mittelschenkels knicken und zum Umstürzen bringen.

Der Oberschenkel des bereits erwähnten mittleren, aufgerichteten Faltenstückes ist durch die Krümmung ausgezogen worden, der Mittelschenkel wurde gepreßt, Erscheinungen, die jede gekrümmte Fläche nach den allgemeinen Gesetzen der Krümmung aufweist. Im Grundrisse betrachtet, zeigt dann dieser Faltenteil nicht mehr die normale Ausbildung, er ist nun « étiré en cet endroit jusqu'à devenir presque filiforme [1] ».

Durch den auf die Schnittfläche ausgeübten Druck mußte notgedrungen der Unterschenkel eine Dislokation erleiden. Seine Fläche kann nicht mehr die ursprüngliche Ausdehnung in der Länge bei-

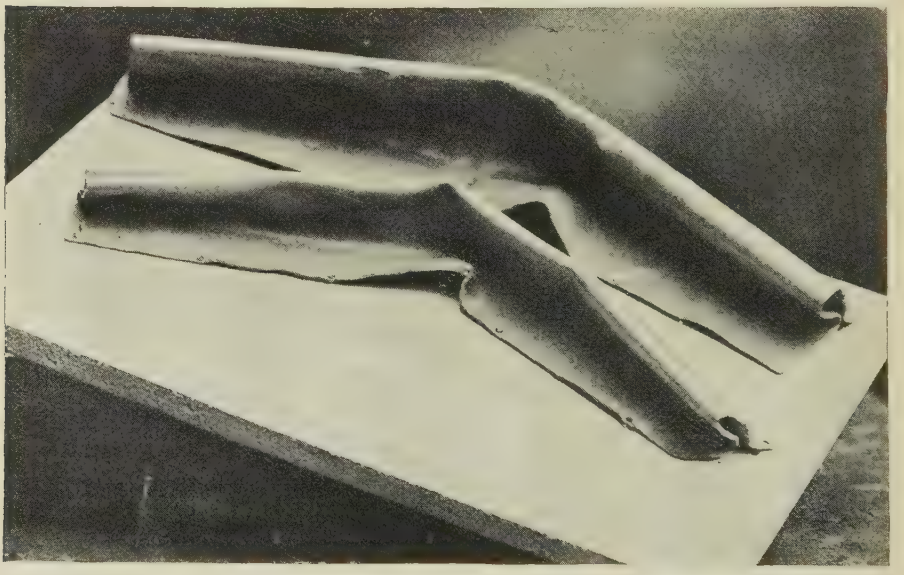

Fig. 2.

[1] Etudes dans les alpes françaises, S. 152.

behalten, sie ist in ihrer ganzen Ausbildung nun auf einen kleineren Raum angewiesen. Dadurch wird der Unterschenkel, wie es sämtliche Modelle gleichartig zeigten, deformiert, indem er sich zusammenschiebt und ein zur Hauptfalte transversal verlaufendes Antiklinal bildet, welches in gewisser Abhängigkeit zur Knickung der Falte steht. Diese für sämtliche liegenden, gekrümmten Falten so charakteristischen Transversal-Krümmungsfalten, wie ich sie nennen will (Fig. 2), welche sich im Zwischenstadium noch nicht zu bilden vermochten, verändern sich mit dem Grade der Krümmung und durchlaufen alle Entwicklungsphasen von der geraden Falte bis zur bruchlosen Überschiebung. Damit ist uns gleichzeitig ein hervorragender Typus einer Begleitform begegnet.

Zweites Stadium in der Krümmung der Falten.

Es ist einleuchtend und bereits erwähnt, daß durch erhöhten Druck bei eingetretener Knickung eine weitere gleichmäßige Krümmung der Falte ausgeschlossen ist. Operieren wir jedoch derart, daß gleichzeitig mit dem Drucke die Falte durch einen außerhalb des Faltenbogens sich befindenden Widerstand gestaut wird, so verteilt sich die Spannung auf zahlreiche Knickungen. Damit gelangen wir zu einer sich der geschlossenen peripherisch gekrümmten Form wesentlich genäherten Falte, welche ich, ihres charakteristischen Aussehens wegen, Kragenfalte nenne (Fig. 3).

Die in diesen Modellen auftretenden Knickungsformen sind in Lage und Aussehen durchaus verschiedenartig. Die stark gekrümmten und durch zahlreiche Knickungen ausgezeichneten Faltenteile zeigen scharfkantige Einsprünge, entsprechend der Knickungsstelle der Falten des ersten Stadiums. In den seitlichen Faltenpartien, wo der Gewölbescheitel sich noch gut erhalten konnte, haben sie zu ellipsenförmigen Eindrücken geführt.

Zwischen diesen Knickungsstellen des Gewölbescheitels ist die ursprüngliche Ausbildung desselben noch erhalten geblieben, wenigstens in der Mitte, während sie sich gegen die beiden Knickungspunkte völlig verringert. Der ursprünglich cylinderförmige Grundriß des Scheitelgewölbes ist dadurch verloren gegangen und ersetzt worden durch Formen, die durch aufeinander folgenden Wechsel

minimaler und maximaler Ausbildung des Gewölbescheitels hervorgegangen sind [1].

Die Zerknitterung des Faltenkammes überträgt sich weiter noch auf den Mittelschenkel. Dadurch erhalten wir zahlreiche, als Furchen ausgebildete Knickungslinien, welche breite, nach unten sich zuspitzende, schwach sich abhebende Sättel einschließen.

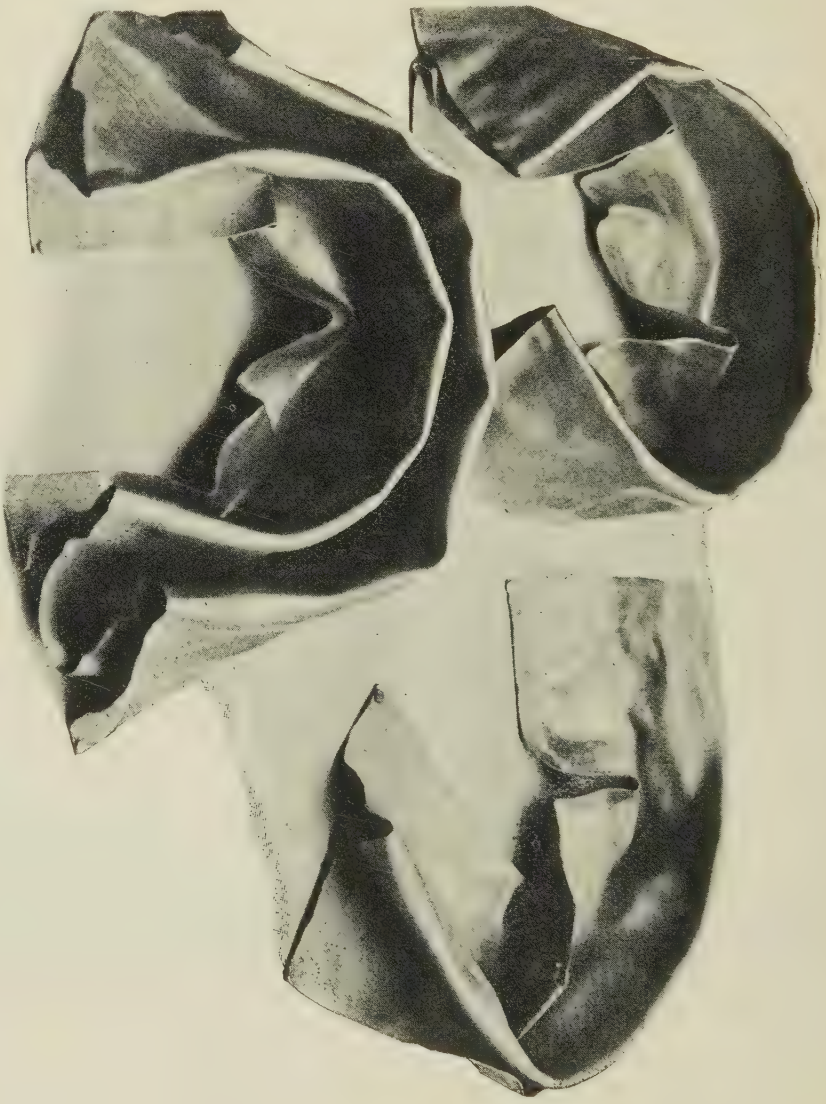

Fig. 3. (*a*, *b*, *c*.)
a = einfache Kragenfalte, *b* = doppelte Kragenfalte, *c* = umgekehrte Kragenfalte.

[1] Sog. « noeuds et ventres ».

Die in Fig. 2 von der Knickungsstelle gerade verlaufende Kammlinie ist nun polygonal ; die Knickungsstellen bilden Sättel, zwischen denen sich breite Mulden erstrecken. Dadurch nimmt die Kammlinie einen gekrümmten, wellenförmigen Verlauf an.

Entsprechend der größeren Zahl von Knickungen haben sich auch die zur Hauptfalte radial verlaufenden Transversal-Krümmungsfalten des Unterschenkels vermehrt, allerdings nicht in dem Maße, daß jeder Knickung ein solches Antiklinal zukommt.

Zum Schlusse dieser Betrachtung möchte ich noch einer Erscheinung Erwähnung tun, die meine Experimente aufwiesen. Es zeigte sich stets, daß die am stärksten gekrümmten Teile der Falte, d. i. die mittleren, in weitgehendstem Maße zerknittert wurden, wie bereits erwähnt. Nach dem Verfahren, wie die Falte gekrümmt wurde, ist diese Tatsache auf rein mechanische Gründe zurückzuführen, d. h. der Folge eines im Innern der Falte oder außerhalb derselben befindlichen Widerstandes zuzuschreiben, was M. Bertrand mit den Worten « phénomène d'écrasement des plis autour des noyaux »[1] oder « d'un anticlinal écrasé entourant le massif[2] » deutlich zum Ausdruck bringt.

Drittes Stadium in der Krümmung der Falten.

Eine weitere Krümmung der Falten des zweiten Stadiums, unter Beibehaltung der besprochenen Bedingungen, führt schließlich zu Faltenformen, welche vollständig geschlossen sind und als Falten des dritten Stadiums in diesem Abschnitt beschrieben werden.

Wie vorauszusehen war, zeigen die Modelle eine stärkere Zerknitterung der Peripherie. Dementsprechend ist auch der Unterschenkel mit mehr Transversal-Krümmungsfalten ausgezeichnet. Im einzelnen wiederholen sich die Erscheinungen, wie sie in Fig. 3 zum Ausdruck gebracht wurden.

Die Existenz solcher « plis enroulés » wurde bereits im monographischen Teile durch die Studien von M. Bertrand festgelegt. Derselbe Autor sagt weiter : « encore moins peut-on comprendre que deux grands plis couchés puissent se faire face sur les deux bords d'un même massif et cesser tous deux ou se raccorder en demi-cercle

[1] Etudes dans les alpes françaises, S. 100.
[2] Ibidem, S. 128.

autour de son extrémité[1] ». Offenbar bezweifelt M. Bertrand in diesen Worten, daß die Biegung der Falten noch weiter getrieben

Fig. 4.

werden kann als bis zur Berührung der Faltenenden, wie es die sog. Kragenfalte zeigt. Er hält es für unwahrscheinlich, daß die Faltenkrümmung schließlich so weit zu führen wäre, daß die beiden Schnitt-

[1] La grande nappe de recouvrement de la Basse Provence, S. 17.

flächen, sich völlig zugewendet, dadurch unmerklich in einander verschmelzen und eine typische Ringfalte zu bilden imstande seien.

Ich habe mich nun bemüht, die experimentelle Nachahmung einer solchen Ringfalte durchzuführen. Zu diesem Zwecke wurde die Bleiplatte ringförmig gefaltet. Es resultierte eine geschlossene Falte. (Fig. 4.) Die gewünschte Ringform jedoch konnte nicht erhalten werden und zeigte die Falte eine so unregelmäßige, kaum definierbare Ausbildung, daß ich in der Beschreibung mit ebensoviel Recht von einer eckigen, geschlossenen Falte reden kann. Immerhin ist damit die experimentelle Darstellungsmöglichkeit von geschlossenen Falten erwiesen.

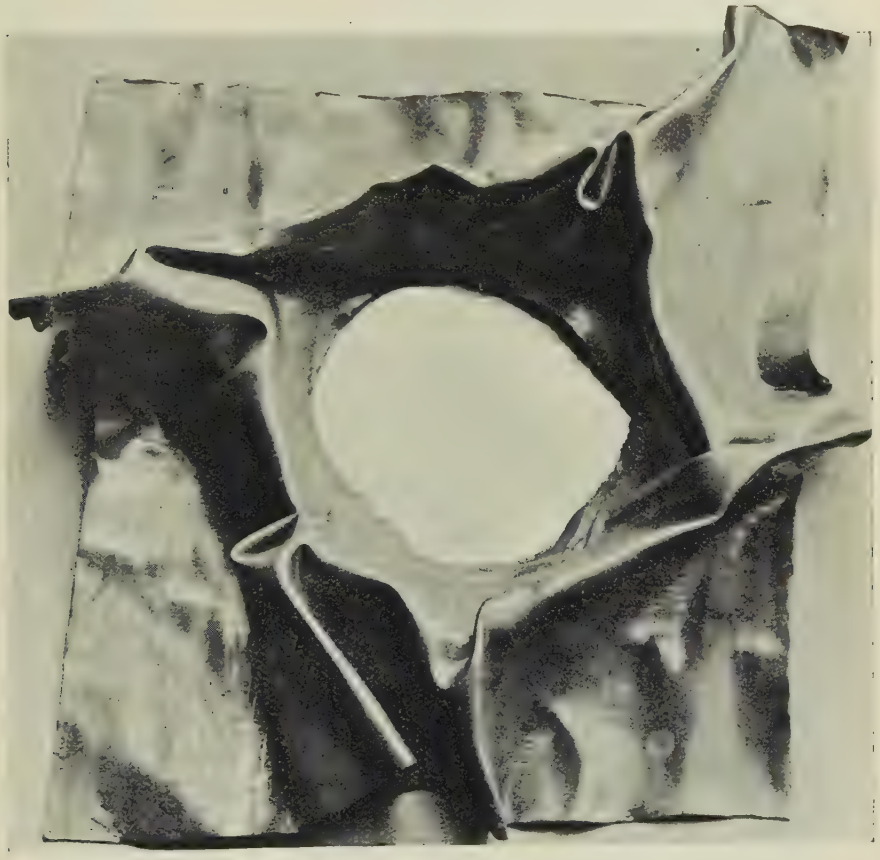

Fig. 5.

Es frug sich nun des weitern, ob und in welcher Weise eine Ringfalte in ihrer Ausbildung beeinflußt werden kann, wenn bei ihrer Bildung die Sedimentdecke innerhalb des Faltenringes durch Denudation verschwunden ist, wie wir in den sog. Erosionsfenstern entsprechende Naturbeispiele kennen.

Zur experimentellen Untersuchung dieses Problems habe ich mich entschlossen, die Gestalt des Denudationsgebietes ver-

Fig. 9.

schiedenartig zu wählen, denn dadurch wird sich eine eventuelle Beeinflussung der Faltenausbildung deutlicher zu erkennen geben. Ich hielt es für zweckmäßig, dazu die Beobachtungen mit einem kreisförmigen und einem quadratischen Erosionszentrum anzustellen. Dies kam im Experiment dadurch zum Ausdruck, daß die Bleiplatte mit einem ringförmigen oder quadratischen Ausschnitt versehen wurde (Fig. 5 und 6), der nach Bildung der Ringplatte von derselben umschlossen ist.

Auch bei diesen Versuchen ist es mir gelungen, geschlossene Falten zu erzeugen.

Von der größten Wichtigkeit ist nun die Tatsache, welche das Modell untrüglich zum Ausdruck bringt: die Ausbildung der Ringfalten ist abhängig von der Gestalt des eingelagerten Denudationsgebietes. Es zeigte sich, daß im auffallenden Gegensatz zu Fig. 4 geschlossene Falten eine deutliche Ringform annehmen, solche mit quadratischem Erosionsfeld sich dieser Form besser anzupassen bestrebt sind.

Mit diesen Ringfalten treffen wir zum ersten Male auf Erscheinungen, wie sie wechselvoller und mannigfaltiger in der Ausbildung von Falten uns bisher nicht begegnet sind. Wir haben hier gleichsam die Kombination aller Erscheinungen, welche die Falte in den verschiedenen Krümmungsstadien auszeichnen.

In dem Auftreten von pyramidalen Rippen, welche sich, dem Faltenscheitel entspringend, mit verschiedenartigem Aussehen nach außen erstrecken, erkennen wir ein neues, bisher nicht bekanntes Gebilde.

Die Formenfülle dieser Ringfalten gestattet nicht, eine anschauliche Definition durch Worte zu geben, dazu wird sich das photographische Bild (Fig. 4, 5, 6) zweckmäßiger eignen.

Nachdem wir nun die einzelnen Entwicklungsphasen in der Krümmung liegender Falten charakterisierend durchlaufen haben, so sollen im folgenden solche Erscheinungen betrachtet werden, die als sekundäre Ausbildungen anszusehen sind.

Gekrümmte, nach außen liegende Falten.

Der Durchschnitt durch den Mont Pourri sowie die Bemerkungen von Haug[1] gaben Anlaß zur experimentellen Darstellung von gekrümmten, nach außen liegenden Falten, den umgekehrten Kragenfalten (Fig. 3 *c*).

Diese Faltenform wird erhalten, wenn bereits zu Beginn der Krümmung die Ausgangsfalte der Krümmungsrichtung abgewandt liegend war. Diesem prinzipiellen Unterschiede des erhaltenen Faltentypus von der gewöhnlichen Kragenfalte schließen sich noch wesentliche Abweichungen in der Ausbildung des Faltenbaues an.

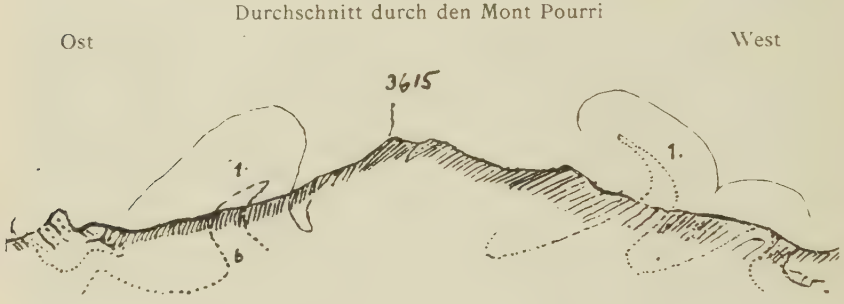

Fig. 7. (Nach M. Bertrand).

« Ce pli marqué (1) n'est dans cette coupe qu'un même pli sinueux. rencontré deux fois par la ligne de coupe [2] ».

So vermissen wir hier vor allem die mannigfaltigen Knickungsformen, welche in Fig. 3 *a* und *b* das Faltengewölbe in seiner ganzen Ausdehnung auszeichnen. Knickungsstellen sind noch in der Zweizahl vorhanden ; diese Zonen sind nun völlig aufgerichtet, sogar teilweise nach innen liegend. Sie stehen in ihren unteren Teilen in Verbindung mit zwei den Oberschenkel dislozierenden Transversal-Krümmungsfalten. Einer beträchtlichen Zugwirkung scheint der Unterschenkel ausgesetzt gewesen zu sein, da er sich an den Stellen stärkster

[1] Haug, Annales de Géographie, tour V., octobre 1895 jusque en octobre 1896, S. 174.

[2] Etudes dans les alpes françaises, S. 136.

Krümmung gänzlich umgebogen und dicht an den Mittelschenkel angeschmiegt hat, wie aus Fig. 3 *c* deutlich zu ersehen ist.

Zahlreiche Experimente haben bewiesen, daß in diesen umgekehrten Kragenfalten Knickungsstellen und Transversal-Krümmungsfalten stets in der Zweizahl auftreten. Es ist dies insofern eine auffallende Tatsache, als wir diese Beobachtung weder im ersten noch im zweiten Krümmungsstadium gemacht haben.

In Fig. 7 kann deutlich erkannt werden, daß der Durchschnitt des Mont Pourri eine nach außen liegende Kragenfalte darstellt, deren Gewölbescheitel nach innen umgebogen ist. Diese letztere Beobachtung wurde bereits in Fig. 3 *c* an jenen Stellen gemacht, wo die Falte ihre Knickungen besitzt. Wir sind dadurch auf rein experimentellem Wege von einer Faltenform zu einer anderen gelangt, welche im Aufbau unserer Gebirge gleichfalls existiert und dürfen in dieser Tatsache ein gewichtiges Argument für die Berechtigung experimenteller Nachahmung natürlicher Faltenformen erblicken.

Die Darstellung einer nach außen liegenden Kragenfalte mit Rückfaltung des Gewölbescheitels wurde noch durch besondere Experimente ausgeführt. Dadurch wurde der nach innen umgebogene Faltenteil einer weitgehenden Zerknitterung preisgegeben, und nur durch Inanspruchnahme großer Mühe konnte diese Rückfaltung zustande gebracht werden. Der Faltenunterschenkel erlitt starke Dislokation ; er wurde in seiner ganzen Länge gehoben und an den Stellen größter Krümmung fest an den Mittelschenkel angepreßt. Der Oberschenkel war neben einer gut ausgebildeten Transversal-Krümmungsfalte durch leichte, unregelmäßig geformte Mulden und Sättel ausgezeichnet.

Ich habe im Laufe der Betrachtung verschiedentlich Gelegenheit gehabt, der Tatsache Erwähnung zu tun, daß die stark gekrümmten Teile einer Falte, welche meistens Knickungen aufweisen, völlig aufgerichtet oder selbst nach entgegengesetzter Richtung neigen, gleichgültig ob die Falte ursprünglich nach innen oder außen liegend war. Diese Erscheinung also, daß ein und dieselbe Falte bald nach innen, bald nach außen sich zu neigen imstande ist, ist ein oft wiederkehrendes Faktum auf dem Gebiete der Alpenforschung und wird von P. Termier bestätigt. Er sagt : « dans l'Est du Massif, à l'Aile-froide, dans le Massif des Arcas, aux Grangettes, à l'Alpe-du-Villard-d'Arène, les plis sont couchés vers l'Ouest, sauf deux ou trois excep-

tions, purement locales, ou un pli presque verticale se déverse tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre [1] ». Für dieses Beispiel dürfte es außer auf experimentellem Wege kaum eine bessere Erklärung geben.

Zum Schlusse dieses Kapitels sei noch einer Erscheinung gedacht, die so recht geeignet ist, den Faltenbau in der kompliziertesten Weise zu verändern. Es ist dies die Torsionswirkung, von der eine Falte ergriffen werden kann und womit stets ein « brusque changement de direction [2] » (der Falte) verbunden ist. Beobachtungen dieser Art wurden besonders von Termier im Massiv des Pelvoux und demjenigen der Vanoise aufgezeichnet, und vermochte er zu zeigen, daß in jenen Zonen, wo « le contournement des plis est le plus brusque », es infolge der Torsionswirkung keine Schichten mehr geben kann, « qui ne soient redressés jusqu'à la verticale [3] ».

Experimentell wurde auch diese Erscheinung nachgeahmt. Doch konnte weiter nichts beobachtet werden als eine intensive Zerknitterung der Falte, die vor allem in der Umgebung der Torsionsachse ausgeprägt war, ganz entsprechend den Naturbeobachtungen.

[1] Termier : Sur la tectonique du massif de Pelvoux, S. 744.
[2] Ibidem, S. 748.
[3] Termier : Sur la constitution géologique du Massif de la Vanoise, S. 128.

II. KAPITEL.

Mandelförmige Massive.

Zu Grunde liegendes Beobachtungsmaterial.

Unter dem hierher gehörenden Faltungstypus versteht man fast ausschließlich « une lentille interposée dans le réseau des plis [1] », « une amande anticlinal isolée au milieu d'un synclinal [2] ». Demnach besteht ein mandelförmiges Massiv aus drei Antiklinalen, nämlich der Mandel und den beiden diese umschließenden Bandfalten. Als Beispiele dieser Art nennt M. Bertrand in erster Linie den Mont Blanc « qui n'est tout entier qu'un immense noyau », dann die Massive der Vanoise, der Aiguille du Midi und des Mont Pourri, weiter den kleinen Mont Cenis und den Grand-Paradis [3]. Die gleiche Struktur zeigen nach Lapparent [4] der Pelvoux, die Grandes-Rousses, Belledonne und die Aiguille Rouge.

Durch diese zahlreichen Beispiele könnte man leicht zu der Annahme geführt werden, hier eine speziell auf die französischen Alpen lokalisierte Erscheinung vor sich zu haben, jedoch ergaben Nachforschungen anderorts Resultate, die unzweifelhaft das Vorhandensein der gleichen Ausbildungen, so in den Ardennen (massif de Spa [5]), Boulonnais und Pays de Bray dartun.

Als Folge der Einlagerung solcher mandelförmiger Massive in das Faltungsgebiet erkennt M. Bertrand recht beachtenswerte Erscheinungen. « Les sinuosités (der Falten) sont dues en partie à la brusque interposition de lentilles allongées dans le sens de la direction, qui écartent les plis tout autour d'elles pour se faire place ». Zur Charakterisierung der Mandelform sagt er weiter : « ce sont

[1] Etudes dans alpes françaises, S. 92.
[2] Ibidem, S. 97.
[3] Ibidem, S. 114.
[4] Traité de Géologie III, S. 1867.
[5] Etudes dans les alpes françaises, S. 115.

tantôt des amandes synclinales (Bsp. : la Grande-Sassière und Mont Jovet), tantôt, et plus souvent, les noyaux anticlinaux présentant ce curieux caractère, que les plis qui les accidentent, quoique intimement reliés par leur direction au réseau général, ne se prolongent pas au-delà de la lentille ; ils convergent et s'abaissent vers les deux extrémités.» Hieraus resultiert « une série de noeuds et de ventres », vergleichbar mit der Struktur des Augengneißes [1].

Unter den angeführten Beispielen für mandelförmige Massive finden sich auch solche, welche nicht den gewöhnlichen, geradlinigen Verlauf (sog. gerade, mandelförmige Massive) aufweisen, sondern vielfach in verschiedenartiger Krümmung ausgebildet erscheinen (gekrümmte, mandelförmige Massive). Derartige Massive bilden der Aiguille du Midi, der Mont Pourri und die Vanoise als « une grande lentille interposée dans le réseau des plis », wo « la position est plus difficile à reconnaître parce que dans cette partie ou les plis sont sinueux, cette lentille en embrasse les sinuosités [2] ».

[1] Etudes dans les alpes françaises, S. 114. Siehe auch : Alb. Heim, Mechanism. der Gebirgsbild., II. Bd., S. 220 und 221.

[2] Ibidem, S. 92.

Experimentelle Nachahmung.

A. Gerades, mandelförmiges Massiv.

Da die experimentelle Nachahmung weniger Wert auf den fertigen Zustand der Modelles als auf den allmählichen Entwicklungsgang des Gebildes legt, da sie also den natürlichen Entwicklungsprozeß auf experimentellem Wege zu analysieren sich zur Aufgabe gestellt hat, so wird und muß sie sich streng an die Bedingungen halten, unter denen die Erdscholle die nachzuahmende Faltenform erzeugen konnte. Wenn daher die Entstehung eines mandelförmigen Massives in der Natur in erster Linie an das Vorhandensein eines Widerstandes, einer sog. Mandel gebunden ist, so ist damit bereits die Ausgangsform vorgezeichnet, von der aus die Entwicklung des Experimentes stattfinden kann.

In meinen Versuchen bildete daher die Mandel auch die erste Dislokation der Bleiplatte. Letztere wurde darauf weiter derart gefaltet, daß zwei geradlinig verlaufende Falten auf die Endflächen der Mandel gerichtet wurden. Je mehr ich mich nun mit der Faltenbildung dem Mandelmassive näherte, desto schwieriger war ihr geradliniger Verlauf beizubehalten, bis dies schließlich völlig unmöglich wurde, die Falten dem in ihre Streichrichtung eingelagerten Widerstande auswichen und sich in unregelmäßigem Verlaufe beiderseits um die Mandel herumlegten. Letztere hat den Falten ihre neue Direktion vorgeschrieben und dadurch die Veranlassung zur Bildung eines geraden, amygdalen Massives gegeben.

Beschreibung der einzelnen Teile (Fig. 8).

1. Die Mandel.

Die Mandel bildet in Fig. 8 eine Antiklinalfalte von 27 cm Länge. Ihre beiden Endflächen weisen recht charakteristische Erscheinungen auf und beanspruchen daher das erste Interesse. In augenfälliger

Weise zeigt das Modell eine verschiedenartige Ausbildung der Mandelendflächen, und zwar derart, daß die eine Endfläche sich in mehre-

Fig. 8.

ren Rippen verzweigt und vergabelt, die andere in regelmäßiger, einem Kugelausschnitt gleichender Abschlußform erscheint. Andere

Experimente (siehe Fig. 11) hingegen ergaben eine Vergabelung beider Mandelendflächen. Diese Beobachtung führt zu der Tatsache, daß wir je nach der Ausbildung der Endflächen zweierlei Mandeln zu unterscheiden haben, symmetrische und unsymmetrische. Letztere läßt in meinem Modell (Fig. 8) unverkennbare Ähnlichkeit mit der gewöhnlichen Fischform erkennen.

Die Vergabelung der Mandelendflächen mit den charakteristischen und stets sich ähnelnden Formen finden wir wieder in deutlicher Ausprägung und zahlreichen Beispielen in der Natur. So berichtet Etienne Ritter über seine Studien im Mont-Blancgebiet: « Le grand anticlinal du Mont-Blanc ne se termine pas brusquement au sud par un pli unique. Au contraire, à mesure qu'il s'abaisse on le voit se digiter en plusieurs anticlinaux [1] ». An anderer Stelle fährt er fort: « Le massif du MontBlanc se termine au sud en dents de scie, chaque dent est formée par un anticlinal cristallin, qui s'avance plus ou moins loin au milieu des terrains secondaires [2] ». In der Tat gibt mein Modell auch Rechenschaft und Auskunft über den weiteren Verlauf dieser « dents de scie » und bestätigt die Beobachtung desselben Forschers, daß die Rippen der Mandelendflächen imstande sein können « de pénétrer au cœur d'anticlinaux de trias et de lias qu'on peut suivre plus ou moins loin au sud » (du Mont Blanc).

Was nun die nord-östliche Endfläche des Mont-Blancmassives anbelangt, so entnehme ich der schweiz., geolog. Karte [3], daß wir es dort mit keiner sichtlichen Vergabelung zu tun haben. Es scheint, als entspräche jenes Abschlußgebilde der an meinem Modell konstatierten Kugelausschnittform, die dadurch zustande käme, daß die Mulde von Chamonix und diejenige des Val Ferret am Mont Chemin durch den Kontakt der Glimmerschiefer der Forclas und des Lias von Sembrancher in der angeführten Weise zusammentreten.

Es ist eine unabwendbare Tatsache, daß die Mandel im amygdalen Massiv eine große Rolle spielt. Daher muß befremden, daß ihr bis jetzt in der Literatur nicht die gebührende Aufmerksamkeit zuteil wurde.

Ich habe nun versucht, durch ein nur die Mandel darstellendes

[1] La bordure sud-ouest du Mont-Blanc. Paris, 1897, S. 117.
[2] Ibidem, S. 124.
[3] Schweiz. Geolog. Karte, Blatt 22, Maßstab 1 : 100000.

Experiment alle Begleitformen zu zeigen, die unzertrennlich mit der Mandelbildung verknüpft erschienen und durch das Experiment

Fig. 9.

sich tatsächlich als solche erwiesen. So sehen wir in Fig. 9 wieder die charakteristischen Gräte der Endflächen, welche, wie die fol-

genden Begleitformen, ganz unabhängig sind von der Bildung der Randfalten. Auch die Seitenflächen bilden den Ausgangsort für mehrere Rippen, welche größtenteils erst in beträchtlicher Entfernung von der Mandel allmählich auslöschen. Wieder andere entspringen dem Fuße der Mandel. Selbst eine gegen die Mandel abfallende Transversalfalte vermochte sich zu bilden. Den Mandelseitenflächen sowie den Endflächen gegenüber wurde die Bleiplatte gehoben und damit (für den letzten Fall) die Andeutung zur Bildung von Querriegeln gegeben, von denen bald die Rede sein wird.

2. Die Randfalten.

Die das zentrale Massiv umschließenden Randfalten zeigen einen äußerst unregelmäßigen Verlauf. Anstatt, wie man erwarten könnte, in bogenförmiger Krümmung die Mandel zu umschließen oder sich wenigstens dem Verlaufe des Mandelmassives in einigen Zügen anzupassen, zeichnen sich diese «plis bordiers» durch regellose, jeder Gesetzmäßigkeit entbehrenden Ausbildung aus. Das Maximum der Kompliziertheit liegt in jenen Faltenteilen, welche die Krümmung zu beiden Seiten der Mandelendflächen einleiten. Die mittleren Faltenregionen nähern sich um einen geringen Grad dem Mandelmassive. Die unregelmäßig verlaufende Scheitellinie beider Randfalten ist der Ausgangspunkt für zahlreiche Rippen. Strebepfeilerartig, mit mehr oder weniger steiler Böschung legen sie sich an die beiden äußeren Faltenschenkel an. Die inneren, der Mandel zugekehrten Flügel sind weiter noch durch Rippen ausgezeichnet, die erst in tieferem Niveau beginnen und nur geringe Länge zeigen.

Was nun die Randfalten in erster Linie charakterisiert, ist die Bildung eines Querriegels an jenen Stellen, wo die Falten zusammenscharen. Diese Erscheinung ist begründet in dem Zusammentreten von Seitenrippen der scharenden Falten und bedingt in der Entstehung der Mandel. Nach der Ausbildung der Mandelendflächen richtet sich auch die Gestalt dieses Querriegels. Dem kugelausschnittförmigen Mandelende entspricht eine ebenfalls regelmäßige Ausbildung des Querriegels ; er stellt eine die Falten verbindende Querwand dar. Anders liegen die Verhältnisse bei dem der vergabelten Mandelendfläche entsprechenden Querriegel. Dort bildet die Abwandung gegen das Mandelmassiv ein zwischen die Falten geschobenes Anti-

klinal, das durch Seitenrippen mit den ersteren in Verbindung steht. Zwei gut ausgebildete gerade Grate erstrecken sich längs der Abschlußfläche und endigen zwischen den beiden Mandelgabeln.

3. Die das Mandelmassiv umschließende Mulde.

Die Gestaltung dieser Mulde steht in Abhängigkeit zur Ausbildung der Mandel, der Randfalten und des Querriegels, ferner zu den verschiedenen Rippen, die teils die Mulde durchqueren, teils in ihr enden. Nach dem früher Gesagten kann daher die Mulde wenig Regelmäßigkeiten in ihrem Verlaufe aufweisen. Vor allem sind es wieder die Mandelgabeln, welche sich so störend in das Synklinal erstrecken und dessen Verlauf rings um die Mandel zu unterbrechen drohen.

Im Anschluß an die Beschreibung des gewöhnlichsten Typus amygdaler Massive möge nun einiger Experimente gedacht sein, die dazu bestimmt waren, die verschiedensten Naturerscheinungen innerhalb der beschriebenen Faltenform nachzuahmen.

In erster Linie habe ich versucht, gemäß den Beobachtungen in der Natur, die Mandel, die doch nur ein Faltengewölbe darstellen konnte, mit einem Kerne zu versehen (Fig. 10). Um dies ermöglichen zu können, habe ich eine aus Holz geformte, den bisherigen Dimensionen entsprechende Mandel verwendet. Die Bildung der Bleimandel erfolgte derart, daß die Bleiplatte allseits straff an den Holzkern angedrückt wurde. Die wirkliche Holzmandelform [1] vermochte die Bleimandel nicht anzunehmen; letztere zeigt wieder die spontan entstandenen Seiten- und Endflächenrippen.

Die nun mit einem Kern versehene Mandel darf jetzt als natürliche Nachahmung im strengsten Sinne angesprochen werden; sie stellt ein wirkliches Massiv dar, dessen noch vorhandene Sedimentdecke durch die Bleihülle wiedergegeben wird.

[1] Dieselbe befindet sich in Fig. 11.

Fig. 10.

Beschreibung des Modells.

Die Randfalten zeigen etwa dieselbe regellose Ausbildung, wie sie in Fig. 8 zum Ausdruck gebracht wurde. Besonders deutlich konnte in diesem Experiment die infolge des eingelagerten Mandel-

massives hervorgerufene Tendenz zur Krümmung der Randfalten beobachtet werden. Die beiden vorhandenen Querriegel schieben sich als breite Antiklinalgewölbe zwischen die zusammenscharenden Randfalten. Der eine, in zwei Antiklinale geteilt, steht in keinerlei Verbindung mit den « Bordiers », während der andere durch eine kurze Seitenrippe mit denselben zusammenhängt. Vor allem ist der Zusammenhang mit der Mandel durch wohlausgebildete Grate ein inniger.

Die Mulde, welche in den geraden, amygdalen Massiven die Mandel völlig umschließt, ist nun durch die mächtige Ausbildung der Mandelendflächen- und Querriegelrippen in zwei selbständige Teile abgetrennt, im übrigen wiederholen sich die Beobachtungen von Fig. 8.

Mit der Ausführung eines weiteren Experimentes (Fig. 11) bezweckte ich zu untersuchen, in welcher Weise das mandelförmige Massiv verändert werden kann, wenn bei dessen Bildung die Sedimentdecke der Mandel bereits durch Erosion abgehobelt und gänzlich verschwunden ist. Die Mandel bildet in diesem Falle ein Zentralmassiv.

Beschreibung des Experimentes.

Die Bleiplatte wurde zur Darstellung des « Zentralmassives » in der Weise durchlocht, daß die Holzmandel, welche das Massiv darzustellen hatte, derart in den Ausschnitt hineinpaßte, daß sie als wirksamer Widerstand innerhalb der Faltenregion gelten darf.

Die Darstellung der Randfalten geschah in derselben Weise wie bisher, ihre Ausbildung jedoch weicht gänzlich von den früheren Formen ab. Zum ersten Male erscheinen sie in regelmäßiger, normaler Gestalt, so daß die Kammlinie nur geringe Unregelmäßigkeiten in ihrem Verlaufe zu erkennen gibt. Die bisherige Faltenkrümmung bleibt bestehen.

Vergleichen wir nun die früheren Beobachtungen in Bezug auf die Randfalten mit dem Ergebnis dieses Experimentes, so finden wir, daß der einzige Grund für die regelmäßige Gestalt der Randfalten in der Abwesenheit der Mandelsedimentdecke bestehen muß. Denn die Sedimentdecke war, wie wir Seite 38 gesehen haben, nicht imstande, die gewünschte Mandelgestalt anzunehmen, ohne in Form von Begleiterscheinungen Seitenrippen zu bilden, welche, die Richtung der Randfalten kreuzend, den regelmäßigen Verlauf dieser

letzteren hindern. Daher dürfen wir nach unseren Beobachtungen annehmen, daß in den Fällen, wo ein Centralmassiv von unregelmäßig ausgebildeten Randfalten umschlossen ist, dieselben oftmals in einer Zeit gebildet worden waren, als die Sedimentdecke das Kristallinische noch verhüllte.

Entsprechend der normalen Ausbildung der Randfalten ist die Mulde fast frei von Dislokationen. Nur zwei von den Mitten der Mandelendflächen ausgehende und sich zwischen die zusammenscharenden Randfalten erstreckende Schnüre durchziehen die Mulde, welche sich nun infolge der fehlenden Querriegel ungehindert weiter ausdehnen konnte.

Es mußte nach den Beobachtungen der beiden letzten Experimente interessant erscheinen zu sehen, mit welchem Resultate ein Versuch ausgeführt werden kann, wenn überhaupt kein Widerstand mehr im Faltungsgebiet vorhanden ist, wenn zur Zeit der Randfaltenbildung die horizontale Sedimentdecke durch Denudation durchlocht war. Anstatt der Mandel haben wir nun ein Erosionsfenster.

Der Nachahmung dieses Faltentypus mit Denudationsbeeinflussung mußte notwendigerweise ein Experiment vorausgehen, das Aufschluß geben kann über die Bildung von Falten, die durch keinen Widerstand beeinflußt, jedoch noch mit normalen Sedimentschichten ausgeführt wird.

Zu diesem Zwecke wurde eine Bleiplatte durch zwei gerade Falten dislociert, und zwar derart, daß ihr Verlauf anfänglich parallel zu einander gerichtet war. Beide Falten behielten diesen Verlauf in ihrer gesamten Ausbildung bei und zeigten regelmäßige Gestaltung.

Dieselben Erscheinungen wiederholen sich nun in Fig. 12, in welchem Experimente ich mit einer Bleiplatte mit Denudationsausschnitt operiert habe. Es scheint also, daß ein Denudationszentrum zwischen den dasselbe bestreichenden Falten ohne Einfluß auf seine Umgebung sei. In Wirklichkeit ist dies jedoch nicht der Fall und es zeigte sich, daß die Falten in Fig. 12 im Gegensatz zu den ihnen entsprechenden vorhergegangenen eine ausgesprochenere Tendenz zur Bildung liegender Falten besitzen.

Zu einem gleichen Resultate gelangte Alb. Heim[1], indem er statt eines Denudationszentrums inmitten des Faltungsgebietes eine lokale Senkung annimmt. Er sagt: « Es ist einleuchtend, daß, wenn eine Einsenkung sich in einer begrenzten Ausdehnung innerhalb eines gleichzeitig in Faltung begriffenen größeren Gebietes geltend macht, eine allgemeine Bewegung der Schichten gegen die Einbruchsstelle

[1] E. de Margerie und Dr. Albert Heim, Die Dislokationen der Erdrinde. Zürich, 1888, S. 84, siehe Fig. 108, S. 85.

beginnt, so daß in Folge davon die Falten sich über dieselbe hinüberneigen und sie, weil dort der Widerstand geringer ist, zu überdecken trachten — gleichgültig welches im übrigen die allgemeine Richtung der Überfaltung sei ».

Fig. 12.

Die amygdalen Massive bestehen nicht immer aus Gewölbe. Wir haben in dem Bau der Grand Sassière und des Mont Jovet Bei-

spiele, in denen gerade die umgekehrte Erscheinung zu Tage tritt. Hier ist nämlich die Mandel als Synclinal ausgebildet, desgleichen die Randfalten, während das frühere Synclinal nun als Antiklinalfalte die beiden jetzigen Synclinale trennt. Diesen Faltungstypus demonstriert die Rückseite meiner Bleiplatte des als Gewölbe dargestellten amygdalen Massives, und wird dadurch die experimentelle Darstellungsmöglichkeit bewiesen [1].

B. Gekrümmtes, mandelförmiges Massiv.

Das Vorhandensein mandelförmiger Massive mit gekrümmter Mandel fand bereits im monographischen Abschnitte Erwähnung. In der experimentellen Nachahmung wurden drei verschiedene Krümmungsformen der Mandel zur Darstellung gebracht. In allen Fällen habe ich mich als Ausgangspunkt eines geraden, amygdalen Massives bedient und gelangte zu den gewünschten Formen durch Variation der Krümmungsmethoden.

[1] Im monographischen Teil dieses Kapitels habe ich eingangs das mandelförmige Massiv definiert. Nach M. Bertrand besteht dasselbe aus drei Antiklinalen: Mandel und Randfalten. Diese Definition muß in Anbetracht der Bedeutung, die dem die Mandel umschließende Synclinal zukommt, dahin erweitert werden, daß diese Mulde als zu dem Faltentypus gehörend zu betrachten ist. Wir haben demnach in Fig. 13*b* den wahren Ausdruck eines amygdalen Massives.

a. *b.*

Fig. 13.

1. Bogenförmige Krümmung der Mandel. (Fig. 14.)

Diese einfachste und am meisten in der Natur sich findende Krümmungsform entsteht analog der Bildung gekrümmter Falten.

Die Mandel hat außer ihrer Krümmung und der damit verbundenen Zerknitterung wenig Veränderung erfahren.

Die Randfalten sind infolge der Bogenkrümmung in äußere und innere zu unterscheiden, je nachdem dieselben der äußeren oder inneren Krümmungsseite entsprechen. Die äußere Randfalte wurde der Zugwirkung merklich ausgesetzt, die innere erlitt starke Zusammenpressung. Letztere Beobachtung zeigt sich vor allem deutlich in dem mittleren Faltenstück, wo ein beträchtlicher Teil aus der Faltungsrichtung gleichsam ausgeschaltet wurde und als selbständige Kragenfalte ausgebildet erscheint.

Das die Randfalten von der Mandel trennende Synclinal hat durch den Krümmungsprozeß den in geraden, amygdalen Massiven wenig unterbrochenen Verlauf um die Mandel nun gänzlich eingebüßt. Die bei geraden Mandeln ihren Endflächen entspringenden Grate wurden gleichfalls mitgebogen und trennen nun die Mulde in zwei völlig selbständige Teile ab.

Fig. 14 läßt deutlich die Einzelheiten, die sich bereits in den geraden, mandelförmigen Massiven vorfanden, erkennen.

2. Mandel mit mehreren, abwechselnd entgegengesetzten Bogenkrümmungen. (Schlangenform.) (Fig. 15.)

Die Krümmung der Mandel zu dieser Form wurde so weit getrieben, als es durch die Kraft der Finger möglich war. Dadurch erreichte man zwischen den einzelnen Bogenschenkeln einen Winkel von durchschnittlich 120°.

Die Ausbildung der Mandel ist unregelmäßig, die ursprüngliche Breite ist vielfach verloren gegangen. Ihre Endflächen sind wieder der Ausgangspunkt für mehrere Grate, welche sich teils über das Synclinal hinaus fortsetzen, teils schon in der Mulde endigen. Den Randfalten selbst wieder entspringen weitere Rippen und erstrecken sich in die Mulde, sodaß auch in diesen neuen Krümmungsexperimenten das Synclinal an den Mandelendflächen durch die mannigfaltigsten Rippenformen abgetrennt wird.

Die Randfalten, deren Ausbildung aus Fig. 15 deutlich zu ersehen ist, passen sich in befriedigender Weise der Krümmung der

Fig. 15.

Mandel an. Schwach angedeutete Rippen, von den Stellen der Krümmungsmaximen entweder der Mandel zu oder von ihr weglaufend entsprechend der Krümmung der Randfalten, verdanken ihre Entstehung ausschließlich der Krümmungsart der Mandel.

Ein Analogon in der Natur für diese hier besprochene Mandelkrümmung war mir aus der Literatur nicht bekannt geworden.

3. Krümmung der Mandel in Zickzackform.

Das Kapitel der gekrümmten mandelförmigen Massive wurde durch ein Experiment mit dieser eigenartigen Mandelkrümmung abgeschlossen. Als Ausgangsform für dieses Modell konnte eine geradlinige Mandel nicht mehr in Anwendung gelangen, da hierbei zur Erzeugung der gewünschten Krümmung eine noch bedeutend gesteigerte Kraft als für das zuletzt beschriebene Experiment erforderlich wäre. Ein derartig gekrümmtes Amygdal wird daher in der Natur kaum ihr Analogon finden können, oder nur dort, wo die Wirkung und Richtung der gebirgsbildenden Kräfte gewaltigster und kompliziertester Natur waren. Dieses Experiment kann und soll daher nicht als Nachbildung natürlicher Erscheinungen betrachtet werden, es soll vielmehr nur für die Beobachtung der durch diese eigenartige Mandelkrümmung hervorgerufenen Begleitformen dienlich sein.

Bei der Experimentierung wurde mit der Bildung der Mandel in der gewünschten Krümmungsform begonnen. Es war zum Teil nur unter Hinzunahme mechanischer Mittel möglich, selbst auf diesem Wege die Zickzackform mit dem gewünschten Zackenwinkel $< 90^{0}$ zu erhalten.

Die Mandelendflächen endigen auch hier wieder mit den charakteristischen, wohlbekannten Formen.

Die der Mandelkrümmung nachgebildeten Randfalten lassen nun deutlich ihre an den Krümmungsstellen nach innen und außen verlaufenden pyramidalen Rippen erkennen ; sie stellen eine in der Bildung solcher Krümmungen bedingte Begleiterscheinung dar und lassen sich nicht unterdrücken, ohne die bestehende Krümmungsform wesentlich zu verändern.

III. KAPITEL.

Wirkung zweier aufeinanderfolgender Zusammenschube.

Zu Grunde liegendes Beobachtungsmaterial.

Alb. Heim hat folgendes Gesetz ausgesprochen: « Kettengebirge kreuzen sich niemals ». An jeder Stelle der Erdrinde, sagt er, wird der tangentiale Maximaldruck eine bestimmte Richtung in einer bestimmten Periode annehmen. Nur annähernd senkrecht auf diese Richtung können dann Falten und Überschiebungen gestaut werden, aber unmöglich gleichzeitig an der gleichen Stelle solche von einer zweiten anderen Richtung. Jedoch kann im Laufe der Zeiten für eine bestimmte Stelle der Erdrinde die Richtung der zusammenschiebenden Kraft ändern [1].

In der Tat hat man an verschiedenen Punkten komplizierte Faltungsformen konstatiert, die auf verschiedene Richtung der faltenden Kräfte zu ungleichen Zeiten des Zusammenschubes zurückzuführen sind. Dies ist beispielsweise der Fall in dem Massiv des Pelvoux [2], in Siebenbürgen [3], und vor allen Dingen dort, wo wir so treffliche Ausbildungen transversaler Antiklinale (Domes) und Synklinale haben, d. i. « dans les lieux des maximas et des minimas des lignes de thalweg et des lignes de tête des plis alpins [4] ».

Beispiele: 1.« Au Sud du *synclinal transversal* qui va du Lautaret au Bourg-d'Oisans [5] par la Grave, Rif-Tord, le Freiney et Auris, il existe, très certainement, un *anticlinal transversal* allant du Signal de Pied-Montet au Jandri [6]. La discussion ne peut s'ouvrir que sur les prolongements de cet anticlinal à l'Ouest et à l'Est [7] ».

[1] Mechanismus der Gebirgsbildung II, S. 220.
[2] Termier, Bull. S. G. F. (3). XXIV. S. 750.
[3] Mrazec, Bull. Soc. sc. phys. Bucarest, 1895.
[4] Termier, Sur la tectonique du massif du Pelvoux, S. 754.
[5] Siehe Le massif des Grandes-Rousses. Bull. Carte géolog. t. VI, S. 281.
[6] Siehe Majorstabskarte, Blatt 189 (Briançon).
[7] Termier, loc. cit., S. 755.

2. « Ces surélévations locales de tout un système de plis sont évidemment produites par un plissement transversal au premier : et les deux plissements sont sensiblement orthogonaux. La vallée de la Romanche, entre le Bourg-d'Oisans et Mizoën correspond à une dépression des plis, à un synclinal du système transversal. Cette dépression est sensiblement dirigée de l'Est à l'Ouest, c'est-à-dire à peu près perpendiculairement aux plis alpins [1] ».

3. « L'existence est également certaine d'une série d'*ondulations transversales* dirigées Est-Ouest, dans le bas Valjouffrey. Quelques-unes de ces ondulations sont très brusques, comme celles des montagnes de la Baisse et du Quairelet ; d'autres très douces, comme celles que l'on observe sur l'arête qui joint le Pic Vert à la Tête-de-Chétives [2] ».

Es würde zu weit führen, von zahlreichen unzweifelhaften Beispielen hier noch weitere anzuführen ; vorstehende Angaben sollen und können auch nur die Existenz transversaler Falten dartun. Über nähere Ausbildung und Verlauf siehe die Literaturnachschläge der Fußnote [3].

Wie die Literatur berichtet, darf als Tatsache gelten, daß die Richtung zweier Zusammenschube, welche sich auf eine Falte erstrecken, in den meisten Fällen rechtwinklig oder doch annähernd unter 90° verläuft. Immerhin sind auch Faltungen der Art bekannt, welche einen spitzeren Winkel einschließen, wie beispielsweise folgendes Citat beweist : « Quand on entre dans le détail, on voit que les deux directions font souvent entre elles de petits angles : exceptionnellement l'angle d'écart va à 45° » [4].

Experimentelle Nachahmung.

Man hat viel, besonders in der alpinen Geologie, von der Tatsache gesprochen, wie zwei Faltenschube von verschiedener Richtung nacheinander auf dieselbe Faltenregion einwirken. Es war daher interes-

[1] Termier, Le massif des Grandes-Rousses, S. 113.

[2] Sur la tectonique du massif du Pelvoux, S. 755.

[3] Ibidem, S. 747–755. De Lapparent, Traité de Géologie III, S. 1860, 1869, 1899, 1902, 1903, 1906, 1908. Le massif des Grandes-Rousses, S. 6, 69, 74, 75, 111–117. Ritter, la Bordure Sud-Ouest du Mont-Blanc, S. 167. M. Bertrand, Etudes dans les Alpes françaises, S. 109–111, 135, 146.

[4] Le massif des Grandes-Rousses, S. 117.

sant, auf experimentellem Wege zu untersuchen, welcher Art die Wirkung zweier solcher Zusammenschube sein wird, und welche Formen hieraus resultieren.

Zur Ausführung meiner Experimente wurde mir in der an unsere Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät anstoßenden Maschinenhalle in liebenswürdigster Weise eine vorzüglich geeignete Maschinenpresse zur Verfügung gestellt, wofür ich dem Direktor der Werkstätte, Herrn Ingenieur Clément, auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank ausspreche.

Ich begann nun mein Experiment, indem ich zwischen den beiden Preßbalken eine 2 oder 3 mm dicke Bleiplatte entweder durch eine oder gewöhnlich durch mehrere parallele, gerade Falten dislozierte. Das war die *primäre* Faltung. Nun wurde die Bleiplatte gedreht, sodaß seitens der beiden anderen Ränder, welche derart geschnitten wurden, daß sie sich exakt an die Preßbalken anlegen, eine Zusammenpressung erfolgen konnte. Diese Faltung, welche nicht ohne Mühe zustande gebracht wurde, da der Druck stets gleichmäßig und nicht stoßweise wirken durfte, habe ich als die *sekundäre* bezeichnet. Dieselbe wurde entsprechend den Naturbeispielen unter verschiedenem Winkel zur primären Faltungsrichtung ausgeführt.

1. Sekundäre Faltungsrichtung unter 45° zur primären. (Fig. 16.)

Fig. 16.

Die Bleiplatte wurde derart geschnitten, daß der sekundäre Zusammenschub unter 45° erfolgen konnte. Dadurch wurden keine neuen Formen erzielt, hingegen konnte deutlich beobachtet werden, daß die primären Falten in ihrem Verlaufe eine Änderung erfahren haben, daß ihre ursprünglich parallele Faltenrichtung verloren ging. Es resultierte eine Form, wie sie in Fig. 16 anschaulich zum Ausdruck gebracht wurde. Man kann folgende Gesetzmäßigkeit erkennen: Zwei benachbarte Falten liegen so, daß ihre Kammlinien nach entgegengesetzten Richtungen abfallen; die deshalb ungleichmäßig ausgebildeten, einander entsprechenden Faltenenden sind sich entweder genähert (Falte 1 und 2 linkes Ende) oder divergieren (Falte 1 und 2 rechtes Ende). Diese Gesetzmäßigkeit überträgt sich in derselben Weise auch auf weitere anschließende bezw. benachbarte Falten, was durch entsprechende Experimente erkannt wurde.

2. Sekundäre Faltungsrichtung unter einem Winkel ∠ 45° zur primären.

Hierdurch konnte außer einer Zusammenschiebung (Annäherung) der primären Falten keine beachtenswerte Veränderung hervorgerufen werden.

3. Sekundäre Faltungsrichtung unter 90° zur primären.

Die charakteristischen Wirkungen zweier verschieden gerichteter Zusammenschube geben sich erst dann zu erkennen, wenn die sekundäre Faltung unter 90° zur Richtung der primären erfolgt. Die ursprünglich rechtwinklig geschnittene Bleiplatte kann hierzu ohne weitere Anpassung verwendet werden. Zahlreiche Experimente dieser Faltung haben mir ermöglicht, folgende Klassifikation der erhaltenen Dislokationsformen aufzustellen.

1. Seitliche Knickung der primären Falten.

a) **Erstes Stadium.** (Fig. 17.)

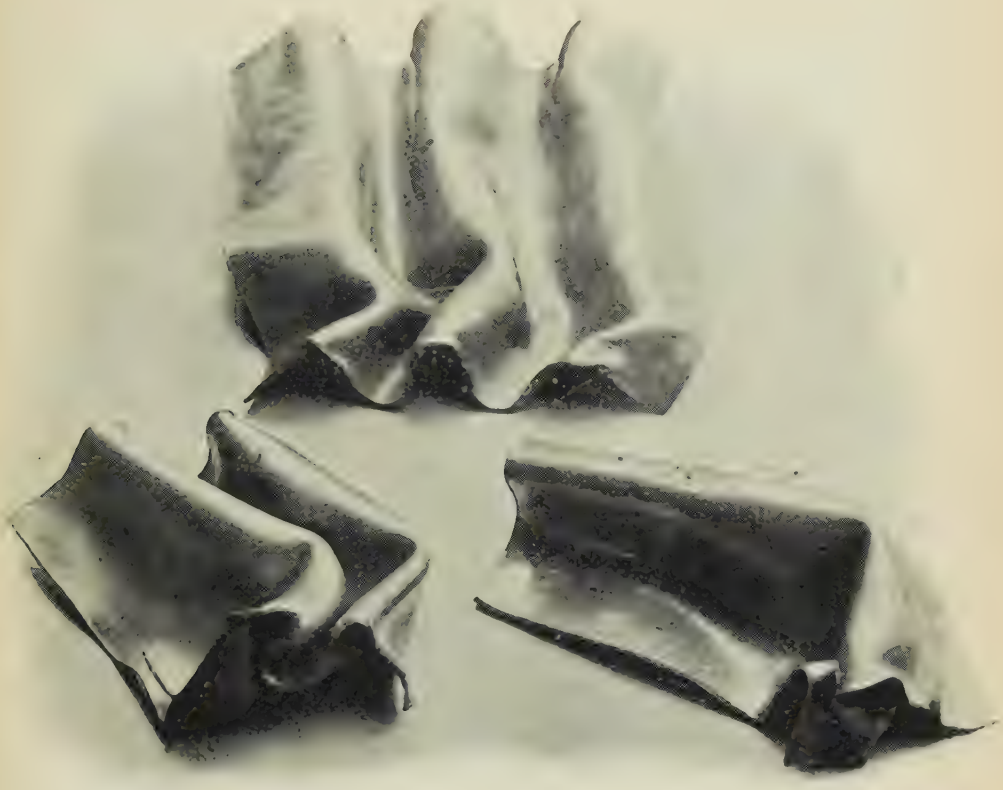

Fig. 17.
a = Dreifache primäre Faltung. *b* = Doppelfalte. *c* = Einfache Falte.

Die Knickung ist soweit getrieben, daß das umgebogene Faltenstück unter einem stumpfen Winkel zu den primären steht. Auffallender Weise befinden sich die Knickungsstellen in den allermeisten Fällen im letzten Drittel der Faltenlänge und zwar in demjenigen, das dem festliegenden Preßbalken zugekehrt war. Diese Tatsache ist insofern von Interesse, als doch mit gleichmäßigem, langsam wirkendem Drucke gearbeitet wurde, bei welchem an den

beiden Preßbalken stets gleiche Spannung herrschen muß. Immerhin finden sich unter meinen Modellen auch solche, bei denen die Knickungsstelle in den mittleren Faltenteilen liegt.

Von weiteren Dislokationsformen, die aus der sekundären Faltung resultierten, seien noch die gut ausgebildeten Transversal-Krümmungsfalten genannt, die eben, wie ausführlich im ersten Kapitel gezeigt wurde (Seite 19 und folgende) in Abhängigkeit zu solchen Knickungen stehen und als Begleitformen in ihrer Umgebung, gewöhnlich in der Knickungsmulde auftreten. (Fig. 17 b u. c). Fig. 17*a* zeigt ferner noch die ebenfalls früher betrachteten strebepfeilerartigen Grate, die von den Knickungsstellen des Scheitels sich in das Synclinal erstrecken und gleichzeitig in den Knickungswinkel der benachbarten Falte eingreifen.

b) **Zweites Stadium.** (Fig. 18.)

Das durch die sekundäre Faltung umgebogene Faltenstück steht zu der primären Falte rechtwinklig oder spitzwinklig. An Stelle einer

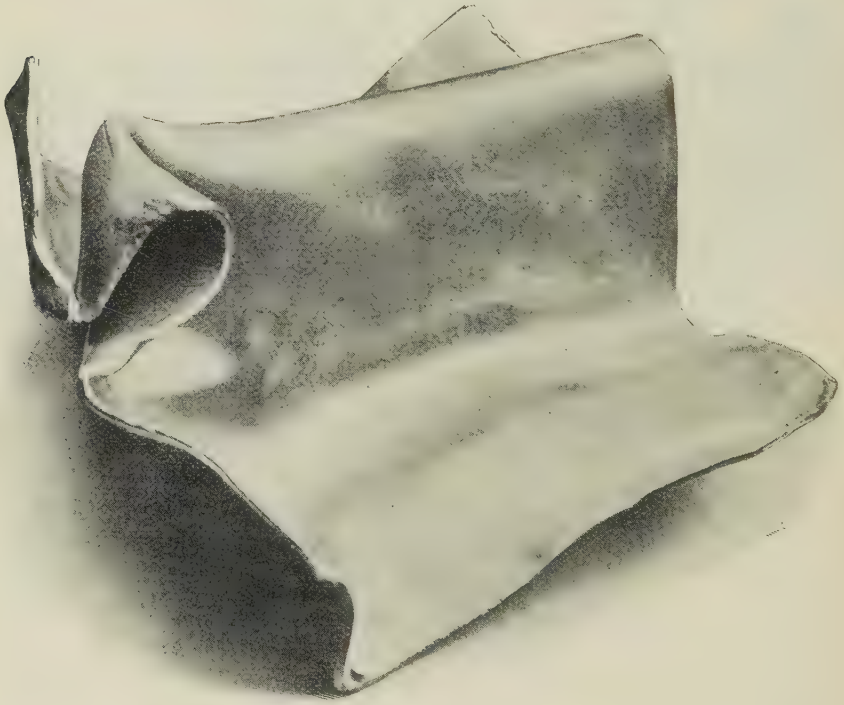

Fig. 18.

Transversal-Krümmungsfalte ist in Fig. 18 die Knickungsmulde durch ein schwach angedeutetes Längsantiklinal ausgezeichnet. Andere Modelle dieses Stadiums zeigen die Transversal-Krümmungsfalte in normaler Ausbildung.

Fig. 19 [1].

Fig. 19 veranschaulicht eine Falte, die in doppelter Weise umgebogen ist; eine Transversal-Krümmungsfalte vermochte sich erst in der zweiten Knickungsmulde zu bilden und liegt genau wie die Knickungsschenkel.

[1] Diese Photographie verdanke ich Herrn Prof. Dr. de Girard. Das Modell wurde 1905 von ihm versuchsweise angefertigt, um dadurch in großen Zügen die Wirkung einer Doppelfaltung kennen zu lernen.

2. Domförmige Ausbildung der primären Falten.

(Transversal-Antiklinale.)

a) **Erstes Stadium.** (Fig. 20 *a* und *b*.)

Fig. 20. (*a* und *b*.)

Die Modelle dieser Art zeigen noch eine gewisse Ähnlichkeit mit den soeben besprochenen. Wir sehen wieder einen allerdings unvollkommen ausgebildeten, umgebogenen Faltenteil mit einer stark aufgerichteten Transversal-Krümmungsfalte der Krümmungsmulde. (Fig. 20*a*).

Während nun bei den früheren Modellen die Falten bis zur Knickungsstelle in der ursprünglichen Ausbildung erhalten sind, lenken die Experimente dieser Art die Aufmerksamkeit gerade auf diese Stellen. Wir bemerken dort eine Aufbauchung des Faltenkörpers, eine domförmige Ausbildung mit einem breiten Quergrat.

Fig. 21.

b) **Zweites Stadium.** (Fig. 21.)

Hierdurch gelangen wir zu der typischen Ausbildung der Transversal-Antiklinale, von denen die verschiedenartigsten Naturbeispiele im monographischen Abschnitt dieses Kapitels Erwähnung fanden, bezw. auf die betreffenden Literaturnachweise hingewiesen wurde.

Die beiden primären Falten (Fig. 21) sind durch den sekundären Zusammenschub gegen die Mitte der Bleiplatte domartig gehoben worden. Sie haben dadurch ihre ursprüngliche Ausbildung eingebüßt, und ist jede derselben durch eine breite, nach dem äußeren Synclinal sich zuspitzende Aufbauchung charakterisiert. Die beiden primären Falten sind durch ein Transversal-Antiklinal in Form einer Rippe verbunden, welches etwa in der Richtung der Maximalpunkte der sekundären Faltung liegt. Es entspringt der Falte 1 und greift in die Flanke der Falte 2 ein unter Bildung einer sogenannten Nische.

3. Muldenförmige Ausbildung der primären Falten.

(Transveral-Synclinale) Fig. 22.

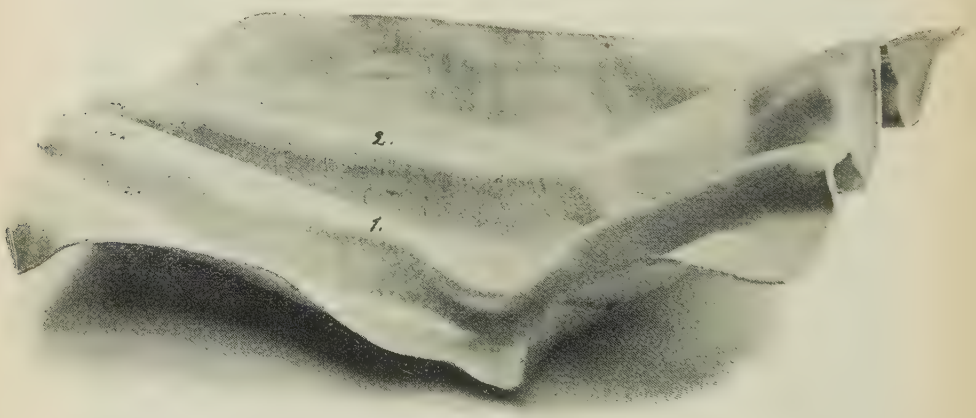

Fig. 22.

Modelle dieser Art können erzeugt werden, wenn die Bleiplatte mit den primären Falten hängend zwischen die Preßbalken eingeschaltet wird. Sie können ferner als die umgekehrte Seite von Modell 21 betrachtet werden.

Wir sehen in Fig. 22 das photographische Bild eines Transversal-Synclinals. Es stellt dar « une dépression des plis », « les lieux des minimas », welche so liegen, daß sie « à peu près perpendiculairement » zu den primären Falten gerichtet sind.

In diesen Transversalsynclinalfalten haben M. Bertrand[1], M. Lugeon[2], E. Ritter[3] und P. Termier[4] die Ursache erkannt, welche für den Verlauf bezw. die Lage der Quertäler bestimmend sein soll. Sueß beantwortet diese Frage ebenso, unter Hinzufügung, daß an den Stellen, wo die Flußläufe die Gebirgsketten durchqueren, letztere gewöhnlich einen einspringenden Winkel zeigen. Er bezeichnet diese Erscheinung als Scharung und nennt Beispiele dieser Art vom Indus und Ihelam[5]. Lugeon zitiert einen analogen Fall von der Isère zwischen Grenoble und Moirans[6], und schließlich resumiert M. Bertrand : « Presque toujours une vallée importante suit l'axe des sinuosités ou l'arète des rebroussements. »

Wie dem nun auch sei, die Tatsache ist charakteristisch, daß auch in meinen Modellen an den Stellen der Krümmungsmaximen das Auftreten « d'un rebroussement », eines solchen einspringenden Winkels zu konstatieren ist (Fig. 22, Falte 1). Diese Einknickung entsteht spontan und richtet sich nach der Intensität des Zusammenschubes der primären Falten.

Außer den Faltungsversuchen dieses Kapitels unter Anwendung von Bleiplatten mit 2 und 3 mm Dicke wurden auch Experimente ausgeführt, bei denen der Faltungsstoff weit geringere « Mächtigkeit » besaß. Auch wurde hierbei die Druckwirkung insofern geändert, als nun das Faltungsmaterial durch einen plötzlichen Zusammenschub « überrascht » wurde. Auf diese Weise erzielt man eine neue Art von Wirkung : Jede primäre Falte schiebt sich nach ihrer Achse zusammen

[1] Etudes dans les Alpes françaises, S. 109.
[2] La région de la Brèche du Chablais, t. VII, 1895–1896, S. 266.
[3] Origine de l'emplacement des cours d'eau, 1897, S. 23–40.
[4] Sur la tectonique du massif du Pelvoux, S. 756.
[5] La face de la terre, Bd. 1, Kap. VII., S. 584.
[6] Recherches sur l'origine des vallées des Alpes occidentales, 1901, S. 310.

und zerknittert sich rechtwinklig, d. h. sie erzeugt eine Serie von kleinen, sehr zusammengeknitterten Fältelchen, welche rechtwinklig (oder fast rechtwinklig) zu den primären Falten liegen. Fig. 23 zeigt die Wirkung eines solchen Zusammenschubes ; eine nähere Beschreibung der erhaltenen Formen halte ich wegen Mangel an Gesetzmäßigkeit für nutzlos.

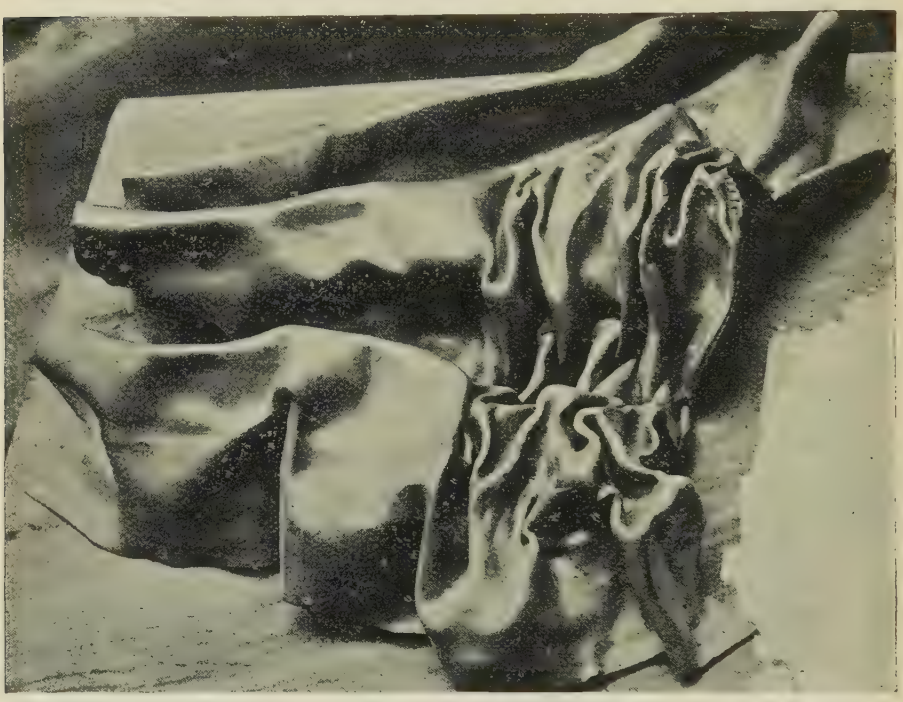

Fig. 23 [1].

Neben der Wirkungsart bei Anwendung dieser Faltungsmethode ist ferner der Ort der Dislokation charakteristisch. Wie bei früheren Experimenten, so finden wir auch hier die sekundären Falten fast ausschließlich auf die dem festliegenden Preßbalken zugekehrte Hälfte der Faltenlänge beschränkt.

Diese Tatsache läßt sich leicht mit den Erscheinungen der Natur

[1] Modell und Photographie sind von Herrn Prof. Dr. R. de Girard.

in Vergleich bringen. Dort, wo der Geologe rastlos nach Wahrheit sucht, wo Überschiebungen und Verwerfungen in der kompliziertesten Weise den Erdaufbau stören und wo gewöhnlich die Kräftewirkung in zahllosen Beispielen Zeugnis ablegt von ihrer Intensität,— dort liegt der feste Preßbalken, das stauende Vorland, an dem die Erdscholle zusammenbricht.

Ich beschließe dieses Kapitel mit dem Anfügen, daß bei der Experimentierung keine neuen Formen erzielt werden, wenn man statt einer Platte deren mehrere überlagert, um damit eine Gesamtheit von Sedimentschichten nachzuahmen.

LEBENSLAUF.

Verfasser dieser Arbeit, Arthur Julius Vogt, wurde am 2. Februar 1885 in Bonndorf (Baden) geboren als Sohn des Großholzhändlers Emil Vogt und seiner Ehefrau Mina geb. Glunk. Nach Besuch der heimatlichen Volksschule erlangte er während den Jahren 1897–1905 die Vorbereitung zum Universitätsstudium an den Ober-Realschulen Freiburg i. Br. und Mannheim. Als ordentlicher Studierender war er hierauf während vier Semester an der Technischen Hochschule zu Karlsruhe (Abteilung für Chemie) immatrikuliert, desgleichen in den folgenden drei Semestern an der Technischen Hochschule zu Darmstadt, wo er im März 1908 das Chemikerverbandsexamen ablegte. Von nun ab waren seine Studien vornehmlich dem Gebiete der Geologie und Mineralogie zugewandt und zwar an den Universitäten Freiburg i. d. Schweiz (Winter-Semester 1908–09), Bern (Sommer-Semester 1909) und wiederum an der Freiburger Hochschule (Winter-Semester 1909–1910), wo er am 2. Mai die mündl. Doktorprüfung bestand.

Während seiner Studienzeit hörte er die Vorlesungen folgender Herren Professoren :

Bunte, Dieckhoff, Engler, Le Blanc, Lehmann, Schwarzmann und Wöhler in Karlsruhe, Finger, Klemm, Kolb, Lepsius und Staedel in Darmstadt, Hugi (Baltzer) und Walser in Bern, Baumhauer, Bistrzycki, Brunhes, de Girard und Gockel in Freiburg.

Allen meinen hochverehrten Lehrern sei auch hier mein aufrichtiger Dank ausgesprochen.

Freiburg, Schweiz. — St. Paulusdruckerei.